

**Method and apparatus for detecting combustion conditions in a multicylinder internal combustion engine.****Publication number:** DE69004410T**Publication date:** 1994-05-19**Inventor:** TAKAKU YUTAKA C O SAWA WORKS O (JP); ISHII TOSHIO C O SAWA WORKS OF (JP); KASHIWAYA MINEO C O SAWA WORKS (JP); TANAKA NAOYUKI C O MECHAN ENGI (JP)**Applicant:** HITACHI LTD (JP)**Classification:****- international:** *F02D41/34; G01M15/11; F02D41/34; G01M15/04;*  
(IPC1-7): F02D41/16; F02D41/28**- european:** F02D41/34D; G01M15/11**Application number:** DE19906004410T 19901213**Priority number(s):** JP19900000509 19900108; JP19900042458 19900226**Also published as:**

EP0437057 (A1)

US5241480 (A1)

EP0437057 (B1)

**Report a data error here**

Abstract not available for DE69004410T

Abstract of corresponding document: **EP0437057**

A method and apparatus for detecting the quality of combustion in each cylinder of a multi-cylinder internal combustion engine (10) is disclosed. The invention determines a combustion stroke of each cylinder by sensors (16, 18, 22) and an arithmetic unit (28) and detects the rotational speed of the engine at least three times during each combustion stroke by a rotation speed calculation device (286). The detected rotational speeds are evaluated by an arithmetic calculation device (287) to identify the variation in rotational speed of each piston during a combustion stroke whereby the quality of combustion is, thus, determined. In a feature of the invention fluctuations in rotational speed caused by reciprocating inertia ( $\omega c$ ) are calculated and eliminated from fluctuation in engine speed caused by combustion ( $\omega g$ ) so that the quality of combustion based only upon variation in detected speeds caused by combustion is derived.

---

Data supplied from the esp@cenet database - WorldwideUSPS EXPRESS MAIL  
EV 636 852 165 US  
AUGUST 1 2006



49667

①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑧⑦ EP 0 437 057 B1

⑩ DE 690 04 410 T 2

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 02 D 41/16**  
F 02 D 41/28

②① Deutsches Aktenzeichen:	690 04 410.0
⑧⑥ Europäisches Aktenzeichen:	90 313 577.0
⑧⑥ Europäischer Anmeldetag:	13. 12. 90
⑧⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA:	17. 7. 91
⑧⑦ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	3. 11. 93
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt:	19. 5. 94

DE 690 04 410 T 2

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
08.01.90 JP 509/90 26.02.90 JP 42458/90

⑦③ Patentinhaber:  
Hitachi, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

⑦④ Vertreter:  
derzeit kein Vertreter bestellt

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:  
DE, GB

⑦② Erfinder:  
Takaku, Yutaka c/o Sawa Works of Hitachi Ltd.,  
Ibaraki, JP; Ishii, Toshio c/o Sawa Works of Hitachi  
Ltd., Ibaraki, JP; Kashiwaya, Mineo c/o Sawa Works  
of Hitachi Ltd, Ibaraki, JP; Tanaka, Naoyuki c/o  
Mechan. Engin. ResearchLab., Ibaraki-ken, JP

USPS EXPRESS MAIL  
EV 636 852 165 US  
AUGUST 1 2006

⑤④ Methode und Gerät um den Verbrennungszustand in einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine zu  
detektieren.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das  
erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und  
zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist  
(Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht  
worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 04 410 T 2

## Hintergrund der Erfindung

### 1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung um den Betriebszustand oder den Zustand einer Brennkraftmaschine mit einer Mehrzahl von Zylindern zu detektieren und besonders bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Detektieren der Beschaffenheit des Verbrennungszustands in jedem Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine.

### 2. Beschreibung des Stands der Technik

Dem Stand der Technik bekannte Brennkraftmaschinen mit einer Mehrzahl von Zylindern weisen Probleme und Nachteile auf, und zwar aufgrund von Umdrehungsabweichungen, die durch die Leistungsunregelmäßigkeiten zwischen jedem der Zylinder aus der Mehrzahl von Zylindern bewirkt werden. Bei einem Versuch zur Lösung dieser Probleme, wie dies in dem japanischen offengelegten Patent mit der Nummer 58-51243 (1983) offenbart wird, wird vorgeschlagen, daß der Verbrennungszustand in einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine zuerst durch Erkennung der Drehzahlen an zwei Stellen des Arbeitshubs für jeden Zylinder bestimmt wird und dann durch Berechnung, wodurch eine Drehzahlabweichung erhalten wird, welche die Differenz der erkannten Drehzahlen zwischen den beiden Meßintervallen darstellt. Bei dem vorstehenden, dem Stand der Technik entsprechenden Dokument, wurde der Verbrennungszustand einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine für jeden Zylinder bestimmt, auf der Grundlage einer arithmetischen Durchschnittsberechnung der Drehzahlabweichung.

Es war jedoch bei dem Stand der Technik entsprechenden Vorrichtungen schwierig den Verbrennungszustand in einer Brennkraftmaschine relativ zu deren verschiedenen Betriebszuständen genau zu bestimmen, da die Unterschiede der Drehzahlabweichung, die unter verschiedenen Betriebszuständen auftreten oder aufgrund einer Kurbelwellenvibration, nicht spezifisch berücksichtigt worden sind. Das heißt, es war dem Stand der Technik entsprechend notwendig, Unterscheidungsschwellenwerte einzuführen, entsprechend den verschiedenen Betriebszuständen einer Brennkraftmaschine. Jedoch war die Einführung dieser Unterscheidungs-Schwellenwerte an sich sehr schwierig und selbst wenn sie erfolgreich eingeführt wurden, war es schwierig einen abnormen Verbrennungszustand in jedem Zylinder zu erkennen, was auf verschiedene Wirkungen zurückzuführen ist, wie zum Beispiel auf eine Drehschwingung der Kurbelwelle.

In Anbetracht der Probleme und Nachteile, welche die dem Stand der Technik entsprechende Technik aufweist, ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, um den Verbrennungszustand in einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine zu erkennen, wobei dieses Verfahren und diese Vorrichtung eine genaue Bestimmung der Verbrennung in jedem Zylinder in der Brennkraftmaschine ermöglichen.

In dem japanischen offengelegten Patent mit der Nummer 62-228128 wird eine Einrichtung beschrieben, zur Bestimmung des Zylinderverbrennungszustands durch Messung der Drehzahlabweichung an zwei unterschiedlichen Punkten in einem Arbeitshub und durch Berechnung der Bewegungsenergie des Kolbens unter Verwendung des Quadrats der schwankenden Drehzahlen an zwei Messungspunkten.

In dem Patent US-A-4705000 wird eine Anordnung zur Erkennung des Zylinderverbrennungszustands an zwei oder mehr Punkten des Verbrennungstakts beschrieben. Jedoch ist die Lehre dieses U.S.

Patents die Messung der Schwankung der Motorendrehzahl. Eine solche Messung erkennt die Veränderung der Motorendrehzahl zwischen dem Anfang und dem Ende des Verbrennungstakts und sie bestimmt nicht die Veränderung des Mittelwerts zwischen den ersten und letzten Punkten des Verbrennungstakts, um so die Schwankung während des Arbeitshubs zu bestimmen. Durch die Messungsart in dem U.S. Patent, kann der Verbrennungszustand bei der Beschleunigung oder bei Fehlzündungen nicht erkannt werden, sonder nur unter Laufbedingungen im Beharrungszustand.

Bei einer solchen Technikanwendung wird davon ausgegangen, daß die Drehzahlveränderung hauptsächlich durch die Verbrennungsenergie bewirkt wird und eine Veränderungs- bzw. Schwankungskomponente aufgrund einer Hubkolbenträgheit durch Kolben und dergleichen wird nicht in betracht gezogen, wodurch bei der Erkennung besonders bei hoher Drehzahl ein großer Fehler verursacht wird oder ein Versagen der genauen Bestimmung eines Verbrennungszustands. Es bleibt in diesem Zusammenhang anzumerken, daß bei hohen Drehzahlen die Drehzahlschwankungen hauptsächlich durch Hubkolbenträgheit bewirkt wird.

Mit anderen Worten ist eine Drehzahlveränderung, die in einer Zündfolge einer Brennkraftmaschine auftritt, zum Teil auf eine durch die Verbrennung verursachte Drehmomentveränderung zurückzuführen, wie es aber bei heutigen Brennkraftmaschinen für ein mit Hubkolben versehenes Kraftfahrzeug häufig der Fall ist, wird eine Drehmomentveränderung auch durch Hubkolbenträgheit verursacht, was folglich zu einer Drehzahlveränderung führt. Ferner wird eine Drehmomentveränderung durch den Mechanismus zur Betätigung der Einlaßventile und der Auslaßventile bewirkt. Ferner tritt durch das Ein- und Ausschalten von Gegenständen mit starker elektrischer Belastung, wie etwa eines Klimaanlagekompressors, eine Drehmomentveränderung auf.

Eine Aufgabe eines Merkmals der vorliegenden Erfindung ist es ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erkennung des Verbrennungszustands bereitzustellen, um aus der Veränderung der Drehzahl einen genauen Verbrennungszustand zu erkennen.

#### Zusammenfassung der Erfindung

Bereitgestellt wird gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Erkennung des Verbrennungszustands in jedem Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine, umfassend die Schritte der Bestimmung eines Arbeitshubs jedes Zylinders, Erkennung der Drehzahl der genannten Brennkraftmaschine während jedem Arbeitshub und Bewertung der erkannten Drehzahlen, gekennzeichnet durch den Schritt der:

Bestimmung eines Ausgleichssignals, welches die Hubkolbenträgheit bei jeder erkannten Drehzahl anzeigt, und zwar durch Berechnung der Motordrehzahlschwankung, die durch die Hubkolbenträgheit auf der Basis der in der Speichereinrichtung gespeicherten Koeffizientendaten bewirkt worden ist; und den Schritt der:

Bewertung der erkannten Drehzahlen, die zur Anzeige des Verbrennungszustands adaptiert sind, im wesentlichen nur auf der Abweichung der ermittelten Drehzahlen basierend, die durch die Verbrennung bewirkt worden sind, durch Berechnung der Abweichung der erkannten Drehzahl weniger der genannten Motorendrehzahlschwankung, die durch die Hubkolbenträgheit bewirkt worden ist.

Durch die vorliegende Erfindung ist es möglich, den Verbrennungszustand einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine genau zu erkennen, selbst wenn die Brennkraftmaschine belastet wird, wodurch die dem Stand der Technik entsprechenden Nachteile überwunden werden.

Vorzugsweise werden die Motorendrehzahlen nahe dem Anfang und dem Ende jedes Zylinderarbeitshubs und zu einem Zeitpunkt zwischen dem Anfang und dem Ende des Hubs erkannt. In geeigneter Weise werden die Motorendrehzahlen am oberen Totpunkt eines ersten Zylinders erkannt sowie am oberen Totpunkt eines zweiten Zylinders, bei dem es sich um den nach dem genannten ersten Zylinder als nächstes zu zündenden Zylinder handelt und zu einem Zeitpunkt zwischen den oberen Totpunkten des genannten ersten und des genannten zweiten Zylinders. In vorteilhafter Weise liegt der genannte Zeitpunkt zwischen dem oberen Totpunkt des genannten ersten Zylinders und dem oberen Totpunkt des zweiten Zylinders etwa in der Mitte der beiden Totpunkte.

Vorzugsweise umfaßt der Bewertungsschritt die Bestimmung der krummlinigen Eigenschaft der ermittelten Drehzahlen zwischen der zuerst ermittelten und der zuletzt ermittelten Drehzahl in einem Arbeitshub sowie die Bewertung des Ausmaßes der Kurvenabweichung, um so den Verbrennungszustand zu bestimmen.

In einem Ausführungsbeispiel werden die Drehzahlen am Anfang und am Ende eines Arbeitshubs ermittelt sowie an einem dazwischenliegenden Punkt und wobei die an dem genannten zwischenliegenden Punkt auftretende Höhe der Drehzahl oberhalb einer imaginären Linie, die zwischen den Drehzahlen am Anfang und am Ende der Verbrennung gezogen wird, den Verbrennungszustand anzeigt.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel werden die Drehzahlen am Anfang und am Ende eines Arbeitshubs ermittelt sowie an einem dazwischenliegenden Punkt und wobei der Bereich unter der auftretenden Drehzahl in bezug auf eine imaginäre Linie, die zwischen den Drehzahlen am Anfang und am Ende der Verbrennung gezogen wird, den Verbrennungszustand anzeigt.

Bereitgestellt wird gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur Erkennung des Verbrennungszustands in jedem Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine, umfassend eine Bestimmungseinrichtung, die so adaptiert ist, daß sie einen Arbeitshub jedes Zylinders ermittelt und ein diesen Hub darstellendes Signal einer Erkennungseinrichtung zuführt, die so adaptiert ist, daß sie die Drehzahl der genannten Brennkraftmaschine während jedem Arbeitshub erkennt, und daß sie eine die Drehzahl anzeigende Ausgabe einer Bewertungseinrichtung bereitstellt, um für die Anzeige des Verbrennungszustands zu sorgen, basierend auf der Abweichung der erkannten Drehzahlen, dadurch gekennzeichnet, daß:

für eine Ausgleichseinrichtung gesorgt ist, die so adaptiert ist, daß sie ein Ausgleichssignal ermittelt, welches die Hubkolbenträgheit bei jeder erkannten Drehzahl anzeigt und wobei die genannte Ausgleichseinrichtung so angeordnet ist, daß sie das genannte Ausgleichssignal der genannten Bewertungseinrichtung zuführt, so daß eine Anzeige des Verbrennungszustands bereitgestellt wird, und zwar im wesentlichen nur auf der durch die Verbrennung bewirkten Abweichung der erkannten Drehzahlen basierend;

die genannte Ausgleichseinrichtung eine Speichereinrichtung umfaßt, die so adaptiert ist, daß sie Koeffizientendaten speichert, um die durch die Hubkolbenträgheit bewirkte Schwankung der Motorendrehzahl zu berechnen; und

die genannte Bewertungseinrichtung eine Verarbeitungseinrichtung umfaßt, die so angeordnet ist, daß sie die Abweichung der erkannten Drehzahlen weniger der durch die Hubkolbenträgheit bewirkten Schwankung der Motorendrehzahl berechnet.

Vorzugsweise umfaßt die Bestimmungseinrichtung eine Kurbelwellen-Winkelgebereinrichtung, die so adaptiert ist, daß sie ein Ausgangssignal bereitstellt, und zwar (a) an dem oberen Totpunkt

eines ersten Zylinders, (b) an dem oberen Totpunkt eines zweiten Zylinders, der der nächste Zylinder ist, der nach dem genannten ersten Zylinder gezündet wird und (c) an einem Zeitpunkt zwischen den oberen Totpunkten des genannten ersten und des genannten zweiten Zylinders.

In vorteilhafter Weise ist die genannte Speichereinrichtung ferner so adaptiert, daß sie Daten speichert, die eine Motorendrehzahlschwankung darstellen, die durch Elastizität bewirkt worden ist.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachstehend wird die Erfindung durch Beispiele in bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen folgendes gilt:

Die Figuren 1(a) bis 1(c) zeigen graphisch verschiedene Betriebszustände der Brennkraftmaschine,

Figur 2 zeigt schematisch eine Vorrichtung zur Erkennung des Verbrennungszustands gemäß der vorliegenden Erfindung,

Figur 3(a) zeigt ein allgemein schematisches Diagramm einer arithmetischen Schaltung, die mit der vorliegenden Erfindung verwendet wird,

Figur 3(b) zeigt ein genaues Schaltungsdiagramm einer arithmetischen Schaltung in der Vorrichtung aus Figur 1,

die Figuren 4(a) bis (d) zeigen Kurvenformen zur Erklärung der Funktionsweise der arithmetischen Berechnungsschaltung,

Figur 5 zeigt Arbeitstakte entsprechender Zylinder in einer Brennkraftmaschine, die mit der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung bereitgestellt werden,

die Figuren 6(a) bis (c) zeigen Kurvenformen zur Erklärung des Grundsatzes der Einrichtung zur Erkennung verschiedener Verbrennungszustände,

Figur 7 zeigt Kurvenformen zur Erklärung des Grundsatzes der Erkennungseinrichtung in einem anderen Ausführungsbeispiel,

die Figuren 8 und 9 zeigen Graphen tatsächlicher Kurvenformen, die den Veränderungszustand der Drehzahlen darstellen, der durch die Verwendung einer realen Brennkraftmaschine erreicht worden ist,

Figur 10 zeigt einen Querschnitt eines Zylinders und zugeordneten Kolbens, Kurbelwelle und Pleuelstange einer Brennkraftmaschine,

Figur 11 zeigt ein Blockschaltungsdiagramm der Vorrichtung zur Erkennung des Verbrennungszustands,

die Figuren 12(a) und 12(b) zeigen Tabellen von Ausgleichskoeffizienten,

Figur 13 zeigt Beispiele für Drehzahldaten, zur Erklärung der Wirkungsweisen des Merkmals der vorliegenden Erfindung.

In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugsnummern gleiche Teile.

#### Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

In bezug auf die Figuren 1(a) bis 1(c) werden jetzt verschiedene Betriebszustände in der mehrzylindrigen Brennkraftmaschine beschrieben. In diesen Figuren wird ein Vierzylindermotor angenommen und die Zündzeitpunkte jedes Zylinders werden durch Zick-Zack-Pfeile bezeichnet. Die Ordinate in jeder der Figuren 1(a) - 1(c) stellt Umdrehungen in der Minute (U/min) dar und kann in den graphischen Figuren 1(a) - 1(c) als inkrementale Veränderung der U/min betrachtet werden.

Die Figur 1(a) zeigt eine mehrzylindrige Brennkraftmaschine, in welcher der Arbeitshub normal auftritt. In diesem Zusammenhang erhöhen sich bei jedem Arbeitshub die U/min aufgrund der Zündung auf einen Spitzenwert auf halber Strecke zu der Zündung des nächsten Zylinders. Die Figur 1(c) zeigt den Fall einer Fehlzündung in Zylinder (1), wobei in den Zylindern (2, 3 und 4) eine normale Zündung auftritt. Es wird hiermit festgestellt, daß

die U/min der Kurbelwelle bei einer Fehlzündung abnehmen, jedoch mit der normalen Zündung des Zylinders (2) nachfolgend wieder zunehmen. Die Figur (c) zeigt den Fall des Auftretens einer normalen Zündung, wobei jedoch aufgrund einer Veränderung des Drehmoments, zum Beispiel einer zunehmenden Belastung, der Trend der U/min abnimmt.

Bei dem dem Stand der Technik entsprechenden, offengelegten japanischen Patent mit der Nummer 58-51243 (1983), bei dem nur zwei Punkte in einem Verbrennungshub jedes Zylinders gemessen werden, wie dies durch die unterbrochene Linie in jeder der Figuren 1(a) - (c) dargestellt ist, wird festgestellt, daß in Figur 1(a) eine positive Steigung zwischen den gemessenen Punkten (eingekreist dargestellt) gemessen wird, wobei jedoch in Figur 1(b), in der in dem Zylinder (1) ein Fehlzündung auftritt, eine negative Neigung gemessen wird. Diese Messungspunkte sind für die in den Figuren 1(a) und 1(b) dargestellten Zustände zulässig, sie sind jedoch für den in der Figur 1(c) dargestellten Zustand unzulässig. In Figur 1(c) tritt diesbezüglich eine normale Zündung auf, jedoch wird aufgrund der Zunahme des Belastungsdrehmoments immer noch eine negative Neigung gemessen. Somit erfolgt eine fehlerhafte Messung. Wenn jedoch ein dritter Messungspunkt verwendet wird, wie dies an dem Zündpunkt von Zylinder (2) durch den unterbrochenen Kreis dargestellt ist, wie dies in der vorliegenden Erfindung auftritt, so ist es möglich zu bestimmen, ob die Kurve zwischen den Zündpunkten der Zylinder konvex ist oder nicht, was den Zylinderzündzustand anzeigt, da die Höhe der Kurve direkt proportional zu der Verbrennungsenergie ist. In dem vorstehenden Beispiel erfolgte die Messung zwar an dem Zündpunkt, so werden jedoch die ersten und dritten Messungspunkte relativ zu dem oberen Totpunkt der Zylinder (1) und (2) verwendet und der dazwischenliegende Messungspunkt wird an einem Punkt in dem Arbeitshub ausgesucht. Das heißt, daß ein Meßfenster bei einem Sechszylindermotor 120 Grad beträgt und 180

Grad bei einem Achtzylindermotor. Nachstehend wird "Zylinder" durch "#" bezeichnet.

In Figur 2 weist eine Brennkraftmaschine (10) eine Kurbelwelle (12) auf, die eine Mehrzahl von Zylindern verbindet, zum Beispiel sechs Zylinder und ein Hohlrad (14) ist an einem Ende der Kurbelwelle befestigt. Gegenüber der Zahnfläche des Hohlrads (14) befindet sich ein magnetischer Abnehmer (16) zur Erzeugung einer Signalausgabe (a). Dabei erzeugt der erste magnetische Abnehmer (16) so viele Impulsformausgangssignale je einer Umdrehung der Kurbelwelle wie das Hohlrad (14) Zähne aufweist. Es wird hiermit festgestellt, daß sich die Erfindung nicht auf einen Hohlradssensor beschränken soll, sondern daß andere, statt dessen bekannte Sensoren verwendet werden können. Ferner ist auf einer Seite des Hohlrads (14) (in Figur 2 auf der rechten Seite) ein vorstehender Teil (17) ausgebildet. Gegenüber dem vorstehenden Teil (17), genauer gesagt, auf der rechten Seite des Hohlrads (14), befindet sich ein zweiter magnetischer Abnehmer (18). Wie dies aus der vorstehenden Struktur deutlich ist, erzeugt der zweite magnetische Abnehmer (18) ein Impulsausgangssignal (b) je Umdrehung (360 Grad) der Kurbelwelle (12). Der obere Teil der Brennkraftmaschine (10) ist mit einer Nockenwelle (20) versehen, zum Schließen und Öffnen der Ventile jedes Zylinders. An einem Ende der Nockenwelle (20) ist ein Nockenwinkelsensor (22) angebracht, zur Erkennung des Drehwinkels der Nockenwelle und wobei der Sensor alle zwei Umdrehungen der Kurbelwelle (12) ein Ausgangsimpulssignal (c) erzeugt.

Die Kurbelwelle (12) der Brennkraftmaschine (10) ist über eine Kupplung (24) und ein Übertragungsschaltgetriebe (26) mit Antriebsrädern (in Figur 2 nicht abgebildet) verbunden, und zwar auf die gleiche Weise, wie dies bei einem herkömmlichen Antriebsmechanismus durchgeführt wird.

Die Ausgangssignale des ersten magnetischen Aufnahmesensors (16), des zweiten magnetischen Aufnahmesensors (18) und des Nockenwinkelsensors (22) werden einer arithmetischen Schaltung (28) zugeführt, deren Aufbau nachstehend genauer beschrieben werden wird, in welcher eine Drehzahl und ein Kurbelwinkel bei einem momentanen Betriebszustand der Brennkraftmaschine berechnet werden. Die Erkennung der Drehzahl ist jedoch nicht auf die Verwendung eines Hohlrads (14) beschränkt und sie kann auch dadurch erreicht werden, daß die Drehzahl der Kurbelwelle (12) zum Beispiel durch die Anbringung einer anderen Sensorart, die sich von dem vorstehenden Hohlrad (14) an der Kurbelwelle (12) unterscheidet, ermittelt wird.

Die in der Figur 3(a) dargestellte arithmetische Schaltung (28) empfängt als Eingaben die Ausgabe (c) des Nockenwinkelsensors (22), die Ausgabe (a) des ersten magnetischen Abnehmers (16), die Ausgabe (b) des zweiten magnetischen Abnehmers (18) und sie kann auch andere Ausgangssignale von einem Luftstromsensor, einem Thermometer in dem Motorkühlwasser oder dergleichen (in der Figur 2 nicht abgebildet) empfangen. Auf der Basis dieser Daten und den in einem ROM (11) gespeicherten Programm, kann eine optimale Steuerung des Zündzeitpunkts und der Kraftstoffeinspritzung durchgeführt werden.

Die Figur 3(b) zeigt einen genauen Aufbau der vorstehend erwähnten arithmetischen Schaltung (28), die mit einem UND-Tor (281) versehen ist, dessen beiden Eingangssignale das Ausgangssignal (c) des vorstehenden Nockenwinkelsensors (22) und das Ausgangssignal (b) des vorstehenden zweiten magnetischen Abnehmers (18) darstellen, wobei der Ausgangsanschluß des UND-Tors mit einer Rücksetzeinrichtung eines ersten Zählers (282) verbunden ist. Ferner wird dem anderen Eingangsanschluß des ersten Zählers (282) (der in Figur 3(b) als untere pfeilförmige

Eingangsleitung dargestellt ist) das Ausgangssignal (a) von dem vorstehenden ersten magnetischen Abnehmer (16) eingegeben.

Dann wird das Ausgangssignal (d) des ersten Zählers (282) einer Zeitgeberschaltung (283) zugeführt. Die Zeitgeberschaltung (283) ist mit der Funktion der Zylinderunterscheidung und der Funktion der Probeentnahme bei einem gegebenen Kurbelwinkel  $\theta$  versehen, d.h., die Zeitgeberschaltung (283) erzeugt ein Zylinderidentifikationssignal (e) und ein Zeitgebersignal (f) (das der in der Figur 4(b) dargestellten Ausgabe (b) des Abnehmers (18) gleicht) von ihren beiden Ausgangsanschlüssen.

Als nächstes wird das Zeitgebersignal (f) einem zweiten Zähler (284) zugeführt, dem von einem Taktsignalgenerator (285) ferner ein Taktsignal (g) zugeführt wird. Der zweite Zähler (284) zählt das Taktsignal (g) nur während das Zeitgebersignal (f) von der Zeitgeberschaltung (283) ausgegeben wird. Das Ergebnis des Zählvorgangs wird dann einer Drehzahlberechnungsvorrichtung (286) eingegeben.

In der Drehzahlberechnungsvorrichtung (286) wird in der folgenden Gleichung (1) eine Drehzahl  $N_e$  auf der Basis der Ergebnisse ( $n_c$  = die Anzahl der Zählwerte) des Zählvorgangs in dem Zähler (284) berechnet.

$$N_e = K \frac{1}{n_c} \quad \dots (1)$$

wobei K eine Konstante darstellt.

Eine so erhaltene Drehzahl  $N_e$  wird dann einer arithmetischen Drehzahlberechnungsvorrichtung (287) zugeführt, in der eine Berechnung für jeden Zylinder durchgeführt wird. Ein Zylinderidentifikationssignal (e) von der Zeitgeberschaltung (283) wird ebenfalls der arithmetischen

Drehzahlberechnungsvorrichtung (287) zugeführt, wobei während dem Arbeitshub jedes Zylinders der Veränderungszustand der Drehzahl ermittelt wird, vorzugsweise von dem oberen Totpunkt (OT) eines betrachteten Zylinders zu dem oberen Totpunkt (OT) des als nächstes zündenden Zylinders. Das heißt, daß in der Verbrennungszustandserkennungseinrichtung (288) ein Wert P berechnet wird, der die Höhe der zweiten Verbrennungsmessung relativ zu den ersten und dritten Punkten anzeigt, so daß der Grad einer aufwärtsgerichteten Biegung, der die Drehzahlveränderung jedes Zylinders während dessen Arbeitshub darstellt, gemessen wird. Auf der Basis der errechneten Werte für P wird ferner bestimmt, ob der Verbrennungszustand in jedem Zylinder gut oder schlecht ist.

Wenn festgestellt wird, daß in einem Zylinder der Brennkraftmaschine (10) eine Verbrennungsabnormalität besteht, so wird einer Bedienungsperson durch eine Verbrennungsabnormalitätseinheit (29) eine Warnung gegeben, oder der Zündzeitpunkt oder die Menge des eingespritzten Kraftstoffs werden zur Korrektur bzw. zum Ausgleich angepaßt (in Figur 3(b) nicht dargestellt).

In den Figuren 4(a) bis (d) sind die Kurvenformen der Ausgangssignale der vorstehend erwähnten verschiedenen Sensorarten und deren entsprechende Taktung im Verhältnis zueinander dargestellt, sowie die Zahl des Zählwerts in dem Zähler (282) der vorstehenden arithmetischen Schaltung (28). Das heißt, die Figur 4(a) zeigt das Ausgangssignal (a) des ersten magnetischen Abnehmers (14), die Figur 4(b) zeigt das Ausgangssignal (b) des zweiten magnetischen Abnehmers (16) und Figur 4(c) zeigt die Kurvenform des Ausgangssignals des Nockenwinkelsensors (20). Diese Kurvenformen der verschiedenen Sensoren werden nach dem Durchlaufen einer in der Figur 4 nicht dargestellten Kurvenformungsschaltung erhalten. Ferner wird das

die Zahl des Zählwerts in dem Zähler (282) darstellende Ausgangssignal (d) einmal alle zwei Umdrehungen der Kurbelwelle (12) zurückgesetzt oder genauer, nur wenn die Ausgangssignale (c) und (d) gleichzeitig auftreten, wodurch sich dessen Wert synchron zu der Funktionsweise der Brennkraftmaschine (10) verändert, wie dies in Figur 4(d) dargestellt ist.

Die Figur 5 zeigt die Beziehung zwischen dem Arbeitshub jedes Zylinders in der Brennkraftmaschine (10) und dessen Kurbeldrehwinkels. Wie dies aus der Figur 5 deutlich wird, überkreuzen sich die Arbeitshübe zweier benachbarter Zylinder. Wie dies jedoch unten in Figur 5 dargestellt ist, sind zwei Drehwinkel (720 Grad) der Kurbelwelle für einen vollständigen Arbeitstakt eines Sechszylindermotors notwendig, wobei der obere Totpunkt (OT) jedes Zylinders eine annähernde Verbindungsstelle zwischen den Zylindern darstellt. Genauer, ordnet die Zeitgeberschaltung (283) in Figur 3 die folgenden Winkelbereiche zu, um zwischen jedem Zylinder zu unterscheiden: von 0 bis 120 Grad (zwei Drehwinkel der Kurbelwelle) dem ersten Zylinder; ein Winkelbereich von 120 bis 240 Grad dem zweiten Zylinder; ein Winkelbereich von 240 bis 360 Grad dem dritten Zylinder; ein Winkelbereich von 360 bis 480 Grad dem vierten Zylinder; ein Winkelbereich von 480 bis 600 Grad dem fünften Zylinder; und ein Winkelbereich von 600 bis 720 Grad dem sechsten Zylinder; wobei die Winkelbereiche somit "Fenster" der Verbrennungsmessung darstellen.

Die Figur 6 zeigt die Veränderung der Drehzahl  $N_e$  der Brennkraftmaschine (10) relativ zu der Zeitgebung deren Erkennung. Das heißt, die Drehzahl  $N_e$  der Brennkraftmaschine (10) minimiert das erzeugte Drehmoment in der Umgebung des oberen Totpunkts (OT) jedes Zylinders und maximiert das Drehmoment in dem folgenden Arbeitshub. Dabei erfolgt, wie dies in Figur 6(a) dargestellt ist, da die Drehzahl von der Ausgabe des erzeugten

Drehmoments abhängt, eine Veränderung, wobei die dem N zugeordnete erste Suffixnummer die Zylindernummer bezeichnet und wobei die zweite Suffixnummer einen der drei Messungspunkte bezeichnet. In Figur 6(b) sind die Zylinderidentifikationssignale (e) der Zeitgeberschaltung (283) in Figur 3(b) dargestellt, d.h. der, der Verbrennung ausgesetzte Zylinder wird ermittelt. Die Zeitgeberschaltung (283) gibt auch ein Zeitgebersignal (f) aus, zur Probeentnahme des Drehzahl Ne an einer gegebenen Kurbelwinkelposition. Die Kurvenform des Zeitgebersignals (f) ist in Figur 1(c) dargestellt, wobei die Breite der Taktimpulse bei einem konstanten Winkel von  $\theta_s$  gehalten wird, zum Beispiel ungefähr 24 Grad des Kurbelwellenwinkels.

Das heißt, während die Zeitgeberschaltung (283) das Zeitgebersignal (f) ausgibt, zählt der Zähler (284) das eingegebene Taktsignal (g) des Taktsignalgenerators (285), worauf das Zählergebnis an die Drehzahlberechnungsvorrichtung (286) ausgegeben wird. Als Folge darauf berechnet die Drehzahlberechnungsvorrichtung (286) die Drehzahl Ne durch die vorstehend gegebene Gleichung (1). Die berechnete Drehzahl Ne wird in Verbindung mit dem Zylinderidentifikationssignal (e) dazu verwendet, den Wert P zu errechnen, der das Ausmaß der Konvexität der nach oben gerichteten Kurve darstellt, welche die Veränderung der Drehzahl Ne für jeden Arbeitshub der Brennkraftmaschine (10) anzeigt, und zwar in der arithmetischen Drehzahlberechnungsprozessorvorrichtung (287) des entsprechenden Zylinders.

In bezug auf die Kurvenform in Figur 6(a), wird die entnommene Zeitgebung der Drehzahl Ne für jeden Zylinder während dessen Arbeitshub, d.h., die Zeitgebung zur Erzeugung des Zeitgebersignals (f), aus Annehmlichkeitsgründen auf den minimalen Wert von drei Intervallen eingestellt, so daß zwei der drei Entnahmezeitgebungsperioden mit der

Entnahmezeitgebungsperiode der benachbarten Arbeitshübe (zum Beispiel teilt der erste Zylinder, dessen Identifikationssignal (e) als #1 dargestellt ist, seine erste Entnahmezeitgebung mit dem sechsten und seine dritte (bzw. letzte) Entnahmezeitgebung mit dem zweiten Zylinder) geteilt werden. In diesem Fall wird die Drehzahl  $N_e$  durch die folgende Gleichung erhalten.

$$N_e = \frac{\theta_s}{6nc \cdot T_c} (U/\text{min}) \quad \dots (2)$$

wobei  $T_c$  den Taktzyklus bzw. die Taktzyklen des Taktsignalgenerators (285) darstellt.

Als nächstes erhält man  $P$  durch die folgende Gleichung.

$$P_k = Nk_2 - \frac{1}{2} (Nk_1 + Nk_3) \quad (3)$$

wobei  $k$  die Zylindernummer bezeichnet, die eine Integerzahl von 1 bis 6 darstellt. Der Wert von  $P_k$  hat die Eigenschaft  $P_k=0$  anzunehmen, wenn der Zylinder  $k$  fehlzündet, während  $P_k>0$  ist, wenn der Zylinder nicht fehlzündet. Durch Voreinstellung eines Schwellenwerts  $P_{th}$  von  $P$  wird es somit möglich, eine Unterscheidung zwischen den beiden folgenden Kriterien zu treffen,

- (i) bei  $P_k < P_{th}$ : besteht eine Fehlzündung (Abnormalität).
- (ii) bei  $P_k > P_{th}$ : besteht keine Fehlzündung (Normalbetrieb).

Wenn im besonderen der Wert von  $P_k$  bei dem Fall keiner Fehlzündung äußerst gering ist und es schwierig ist den Schwellenwert voreinzustellen, so ist es selbst dann noch möglich genau zwischen den normalen und den abnormalen Verbrennungszuständen in jedem Zylinder zu unterscheiden, zum Beispiel durch Erhöhung der Anzahl der Erkennungsentnahmeperioden der Drehzahl  $N_e$  je Zylinderarbeitshub.

In bezug auf Figur 7 ist ein Graph dargestellt, mit einer Abszisse des Kurbelwinkels zu einer Ordinate der Drehzahl  $N_e$ . Die unterbrochene Linie zeigt die Drehzahlveränderung an, die zum Beispiel auf die Veränderung der Belastung oder auf Motorteilvibrationen zurückzuführen ist und die durch durchgezogene Linien dargestellten konvexen Kurven zeigen eine Veränderung aufgrund der Verbrennung an und sie weisen für die Zylinder (1-3), die entsprechend durch die Pfeillinien  $P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  dargestellt sind, eine maximale Höhe auf. Wenn anstelle der Bestimmung des Ausmaßes der Konvexität der Drehzahlkurve, der kreuzweise schraffierte Bereich in Figur 7 für den Zylinder (1) integriert wird, so zeigt der Integrationswert den Verbrennungszustand an. Wenn somit eine Fehlzündung auftritt so beträgt der Integrationswert null. Somit ist es möglich die Unterscheidungsgenauigkeit weiter zu verbessern, zum Beispiel durch Durchschnittsberechnung der Werte verschiedener Auftretensweisen von  $P_k$ .

In der Figur 8 und der Figur 9 sind die realen Veränderungszustände der Drehzahl  $N_e$  bei Verwendung eines Sechszylindermotors dargestellt. Im besonderen zeigt die Figur 8 den Veränderungszustand, wenn ein Zylinder normal funktioniert hat, wohingegen die Figur 9 den Veränderungszustand zeigt, wenn der Zylinder (2) (#2) nicht richtig funktioniert (fehlgezündet) hat und wenn das Belastungsdrehmoment variiert. Wie dies aus den Figuren 8 und 9 deutlich wird, verändert sich die Drehzahl  $N_e$  so, daß sie für den Arbeitshub jedes Zylinders eine aufwärtsgerichtete konvexe Kurve aufweist, wenn dieser normal arbeitet. Mit anderen Worten sind bezüglich einer zwischen den ersten und den letzten Punkten der Drehzahl  $N_e$  für jeden Zylinder gezogenen unterbrochenen Linie, die Werte für die Drehzahl  $N_e$  für jeden anderen dazwischenliegenden Teil größer, was bedeutet, daß der in jeden Zylinder eingespritzte Kraftstoff normal verbrennt, wodurch ein ausreichendes Drehmoment erzeugt wird. Wenn

andererseits in einem der Zylinder eine Fehlzündung auftritt, wie dies zum Beispiel in dem zweiten Zylinder (#2) dargestellt ist, flachen die Werte der Drehzahl  $N_e$  für die vorstehend erwähnten zwischenliegenden Teile ab, ohne die unterbrochene Linie zu überschreiten und die Werte nehmen von dem letzten Teil des Arbeitshubs des vorangehenden Zylinders weiter ab, d.h. während dem Arbeitshub des zweiten Zylinders, es wird kein Drehmoment erzeugt.

Wie dies aus der vorstehenden Beschreibung deutlich wird, ist es möglich genau zwischen einer normalen Verbrennung und einer abnormalen Verbrennung in jedem Zylinder einer Mehrzahl von Zylindern einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine zu unterscheiden. Durch die Verwendung der vorliegenden Erfindung ist es ferner möglich, das den unregelmäßigen Verbrennungszustand zwischen Zylindern betreffende Problem zu lösen, wodurch die Bereitstellung einer ausgezeichneten mehrzylindrigen Brennkraftmaschine möglich ist, die für eine im wesentlichen ruhige Leistungsabgabe bzw. ein ruhiges Drehmoment sorgt.

Ein Merkmal der vorliegenden Erfindung wird nun in bezug auf die Figuren 10 - 13 der beigefügten Zeichnungen offenbart. Bei diesem Merkmal der vorliegenden Erfindung werden die Veränderungen bzw. Schwankungen der Motorendrehzahl, die durch Schwankungen der Hubkolbenträgheit, wie durch Kolben und dergleichen verursacht werden, überwunden. Diesbezüglich gilt, daß durch Kolben und dergleichen verursachte Hubkolbenträgheiten bei der Drehzahlermittlung bei hohen Drehzahlen einen großen Fehler bewirken.

In der Figur 10 ist eine Querschnittsansicht eines Zylinders in der Brennkraftmaschine (1) dargestellt, in dem sich ein Hubkolben (90), eine Pleuelstange (110) und eine Kurbelwelle (70) befindet. In Figur 10 sind die relativen Positionen dieser Komponenten

zueinander dargestellt und insbesondere wird der Winkel der Längsachse des Kurbelwellenelements (70a) zu einer imaginären Linie (110a), welche die Drehachse der Kurbelwelle mit der Achse des sogenannten kleinen Endes verbindet, wodurch die Pleuelstange (110) mit dem Kolben (90) verbunden wird, dargestellt (nachstehend als Kurbelwinkel  $\theta$  bezeichnet). Das Drehmoment  $t_g$  wird durch den Druck  $P$  in der Verbrennungskammer (12) des Zylinders erzeugt und wird von dem Zylinder zu der Kurbelwelle (70) übertragen. Dieses Drehmoment  $t_g$  stellt eine Funktion des Drucks  $P$  und des Kurbelwellenwinkels  $\theta$  dar und ist durch die folgenden Gleichung definiert.

$$t_g(\theta) = R \cdot P \cdot A \cdot \sin(\Phi + \theta) / \cos \Phi \quad \dots(4)$$

wobei  $A$  eine Oberseitenfläche des Kolbens (90) darstellt, welche den zugeführten Druck empfängt, wobei  $\Phi$  einen Winkel zwischen der vorstehend erwähnten imaginären Linie (110a) und der Längsachse der Pleuelstange (110) darstellt.

$$\sin \Phi = \frac{R}{L} \sin \theta = K \sin \theta \quad \dots(5)$$

wobei  $R$  den Radius der Drehung des sogenannten großen Endes des Kurbelzapfens (70b) darstellt und wobei  $L$  die Strecke zwischen den Achsen des kleinen und des großen Endes der Pleuelstange darstellt.  $K$  ist durch  $K=R/L$  definiert.

Auf die gleiche Weise stellt das Drehmoment  $t_i$ , das durch Hubkolbenträgheit des Kolbens (90) und der Pleuelstange erzeugt wird, eine Funktion des Kurbelwellenwinkels  $\theta$  und der Kurbelwellendrehzahl  $\omega$  dar und wird durch die folgende Gleichung definiert.

$$t_i(\theta) = MR^2\omega^2(\cos \theta + K \sin 2\theta) \times \frac{\sin(\Phi + \theta)}{\cos \Phi} \quad \dots(6)$$

wobei  $M$  die Masse der Hubkolbenelemente darstellt.

Somit wird das in einem einzigen Zylinder erzeugte Drehmoment  $t$  durch

$$t = t_g + t_i \quad \dots (7)$$

definiert.

In der Annahme, daß der  $j$ -te Zylinder in einer Vierzylinder-Brennkraftmaschine dadurch dargestellt wird, daß ein Suffix  $j$  ( $j=1, \dots, 4$ ) vergeben wird, kann die Gleichung (7) wie folgt umgeschrieben werden.

$$\sum_{j=1}^4 t_j = \sum_{j=1}^4 t_{gj} + T_i = \sum_{j=1}^4 t_{ij} \quad \dots (8)$$

wobei  $T$ ,  $T_g$  und  $T_i$  wie folgt definiert sind.

$$T = \sum_{j=1}^4 t_j, T_g = \sum_{j=1}^4 t_{gj}, T_i = \sum_{j=1}^4 t_{ij} \quad \dots (9)$$

Die Gleichung (8) wird wie folgt umgeschrieben.

$$T = T_g + T_i \quad \dots (10)$$

Wenn die Drehzahl der Kurbelwelle (70) als  $\omega$  genommen wird, so erhält man die folgende Gleichung.

$$T - T\ell = I \frac{d\omega}{dt} \quad \dots (11)$$

wobei  $T\ell$  das Belastungsdrehmoment von der Kupplungsseite in Figur 1 darstellt und wobei  $I$  einen Trägheitsmoment des Drehsystems darstellt, das die Kurbelwelle und die damit direkt oder indirekt verbundenen Komponenten umfaßt.

Aus der Gleichung (11) erhält man die folgende Gleichung.

$$\omega = \frac{1}{I} \int (T - T\ell) dt$$

wobei  $\omega$  die tatsächlich gemessene Schwankung in U/min darstellt.

$$\omega = \frac{1}{I} \int (T_i - T\ell) dt + \frac{1}{I} \int T_i dt \quad \dots (12)$$

$\omega_c$  kann wie folgt definiert werden.

$$\omega_c = \frac{1}{I} \int T_i dt \quad \dots (13)$$

wobei  $\omega_c$  ein Schwankung in U/min aufgrund von Hubkolbenträgheit darstellt;  $T_i$  stellt die Drehmomentträgheit dar.

Die Gleichung (13) wie folgt unter Verwendung der Gleichungen (9) und (6) angenähert werden.

$$\begin{aligned} \omega_c &= \frac{1}{I} \int \sum_{j=1}^4 t_{ij}(\theta) dt \\ &= \frac{\omega}{I} \int \sum_{j=1}^4 \left\{ -MR^2 (\cos \theta_j + K \sin 2\theta_j) \frac{\sin(\Phi_j + \theta_j)}{\cos \Phi_j} \right\} d\theta \quad \dots (14) \end{aligned}$$

Das heißt, da  $1/I \int \sum \{ \} d\theta$  eine Funktion von  $\theta$  ist, wird durch die folgende Definition,

$$h(\theta) = 1/I \int \sum \{ \} d\theta \quad \dots (15)$$

die folgende Gleichung erhalten.

$$\omega_c = \omega h(\theta) \quad \dots (16)$$

In der Praxis werden die Werte von  $h(\theta)$  in einem ROM-Abbild gehalten.

Aus den Gleichungen (12) und (13), erhält man die folgende Gleichung.

$$\frac{1}{I} \int (T_s - T\ell) dt = \omega - \omega_c \quad \dots (17)$$

Ferner wird  $\omega_g$  wie folgt definiert.

$$\omega_g = \omega - \omega_c \quad \dots (18)$$

wobei  $\omega_g$  die durch die Verbrennung bewirkte Schwankung in U/min darstellt - welche das gewünschte Ausmaß aufweist.

Aus den Gleichungen (17) und (18) erhält man die folgende Gleichung.

$$T_s - T\ell = I \frac{d\omega_g}{dt} \quad \dots (19)$$

Hier kann angenommen werden, daß bei einer Betrachtung in bezug auf einen sehr kurzen Zeitraum, wie etwa innerhalb einer einzigen Zündfolge,  $T\ell$  konstant ist (ausgenommen während der schrittweisen Veränderung der Drehmomentbelastung aufgrund des Ein-/Ausschaltens der Klimaanlage, wie dies bereits vorstehend erwähnt worden ist, während welcher das Verfahren der Erkennung des Verbrennungszustands leicht vorübergehend angehalten werden kann). Somit kann durch die Verwendung von  $\omega_g$  Information bezüglich  $T_g$ , d.h. nur bezüglich des Verbrennungszustands, erhalten werden. Man erhält  $\omega_g$  aus  $\omega_c$ , dem Produkt von  $\omega$  und  $h(\theta)$ , das eine Funktion des Kurbelwellenwinkels  $\theta$  darstellt, wie folgt:

$$\omega_g = \omega - \omega_c$$

Da  $h(\theta)$  eine zyklische Funktion von  $\theta$  darstellt, ist es durch eine Vorberechnung der abgebildeten Daten von  $h(\theta)$  über 360 Grad oder 720 Grad nicht notwendig  $h(\theta)$  jedesmal mit einer Berechnung von  $\omega_c$  zu berechnen.

Ferner kann die Gleichung (15) wie folgt umgeschrieben werden.

$$\omega_c = \bar{\omega} \cdot h(\theta) \quad \dots (16')$$

wobei  $\bar{\omega}$  einen Durchschnitt von Werten darstellt, die in einem gegebenen Intervall einer Zündfolge erhalten werden, definiert als  $\omega/\bar{\omega}=1$

Vorstehend ist somit ein Ausgleichsverfahren beschrieben worden, um die Hubkolbenträgheit auszuschließen. Ein normaler Ausschluß dieser Hubkolbenträgheit genügt häufig, da dessen Einfluß ausreichend groß ist. Wenn eine Notwendigkeit für einen Ausgleich auftritt, zum Beispiel für einen Ventilbetätigungsmechanismus (in den Figuren nicht abgebildet), wobei folgendes angenommen wird,

$$h_1(\theta) = \frac{1}{I} \int \sum_{j=1}^4 \left\{ -MR^2 (\cos \theta_j + K \sin \theta_j) \frac{\sin(\Phi_j + \theta_j)}{\cos \Phi_j} \right\} d\theta \quad \dots (15')$$

mit  $h_2(\theta)$  = ein durch die Ventilbetätigungseinrichtung bei dem Kurbelwinkel  $\theta$  erzeugtes Drehmoment ... (20)  
wird die folgende Gleichung abgeleitet.

$$\omega_c = \omega \cdot h_1(\theta) + h_2(\theta) \quad \dots (21)$$

Nachstehend kann die Berechnung durch ein dem vorstehend erwähnten Verfahren ähnliches Verfahren durchgeführt werden. Somit werden einmal ausgleichende Koeffizienten wie  $h_1(\theta)$  zum Ausgleich der Veränderung aufgrund von Hubkolbenträgheit und

$h_2(\theta)$  zum Ausgleich der Veränderung aufgrund von Dehnkräften einer Feder oder dergleichen, ermittelt,  $\omega_c$  und  $\omega_g$  können entsprechend aus der Gleichung (21) und (18) erhalten werden, wodurch für dienende Informationen über den Verbrennungszustand gesorgt wird.

Die Funktionsweise der Vorrichtung wird nun in bezug auf die Figuren 4 und 11 beschrieben. Wie dies vorstehend beschrieben worden ist, wird das Signal (c) von dem Nockenwinkelsensor (22) einmahl alle zwei Umdrehungen der Kurbelwelle (12) ausgegeben und das Ausgangssignal (b) erhält man von dem magnetischen Abnehmer (18) nach dem Verlauf durch eine Kurvenformungsschaltung (nicht abgebildet), das gleiche Signal wird einmal je Umdrehung der Kurbelwelle erzeugt und so angepaßt, daß es zum Beispiel an dem oberen Totpunkt (OT) des ersten Zylinders erzeugt wird. Das Ausgangssignal (a) erhält man von dem magnetischen Abnehmer (16) nach dem Verlauf durch eine Kurvenformungsschaltung (nicht abgebildet) und es wird mit einem gegebenen Kurbelwinkel erzeugt, der den Zähnen des Hohlrads (14) entspricht. Die Kurvenform (d) in Figur 4(d) entspricht dem Zählwert des Winkelzählers (282) und wird durch ein UND-Signal zwischen den Signalen (b) und (c) zurückgesetzt und zeigt die Pulszählnummer des Signals (a). Aus dem Signal (d) kann ein Kurbelwinkel  $\theta$  ermittelt werden, zum Beispiel basierend auf dem oberen Totpunkt (OT) des ersten Zylinders. Die Berechnung des Kurbelwinkels  $\theta$  und die Entnahme des Zeitgebers (283) berechnet den Kurbelwinkel  $\theta$  aus der gezählten Nummer, wie dies vorstehend erklärt worden ist und gibt ein Zeitgebersignal (f) ab, zur Erkennung der Drehzahlen bei einer gegebenen Kurbelwinkelposition. In dem Zähler (284) wird das Signal des Taktgebers (285) nur dann gezählt, wenn das Zeitgebersignal (f) ausgegeben wird. Basierend auf der Nummer des Zählwerts dessen erhält man in einer Drehzahlberechnungsvorrichtung (286') eine Drehzahl  $\omega$ , die Teil der Vorrichtung (286) ist, die in Figur 3(b) dargestellt ist.

Ferner wird in einer Tabellenzugriffseinrichtung (290) für  $h(\theta)$  auf einen dienenden Tabellenwert  $h(\theta)$  zugegriffen, gemäß dem Kurbelwinkel  $\theta$ . Die Tabellenliste kann in dem ROM (11) gespeichert sein, wie dies in den Figuren 12(a) und 12(b) dargestellt ist, wobei die Figur 12(a) den Fall darstellt, wo nur eine Art von  $h(\theta)$  verwendet wird, wie zum Beispiel in Gleichung (16), während die Figur 12(b) den Fall der Verwendung von zwei Arten von  $h(\theta)$  darstellt, wie in der Gleichung (21). Die  $h(\theta)$ -Tabelle kann entsprechend jedem Kurbelwellenwinkel gespeichert sein, an dem es wünschenswert ist die Drehzahl  $\omega$  zu ermitteln. Bei  $h_1$  und  $h_2$  handelt es sich um Funktionen der in der Figur 10 dargestellten Größen und die Werte variieren zwischen den verschiedenen Motorentypen. Aus den so erhaltenen Werten für  $\omega$  und  $h(\theta)$  kann  $\omega_g$  gemäß der vorstehenden Beschreibung in einer  $\omega_c/\omega_g$ -Berechnungseinheit (287') erhalten werden, die einen Teil der in der Figur 3(b) abgebildeten Einheit (287) darstellt. Schließlich wird in einer Erkennungseinheit (288') des Verbrennungszustands, die einen Teil sowie eine Ergänzung der Einheit (288) in Figur 3(b) darstellt, ein andauernder Verbrennungszustand, d.h. der Verbrennungszustand, aus  $\omega_g$  und dem entsprechenden Kurbelwinkel  $\theta$  identifiziert. Wie bei der Einrichtung zur Identifizierung oder Unterscheidung, kann die in der Gleichung (19) durchgeführte Zeitableitung oder eine stattdessen bekannte Einrichtung verwendet werden.

Die Figur 13 zeigt ein Beispiel für Drehzahldaten, die für eine reale Vierzylinder-Brennkraftmaschine genommen wurden.  $\theta=0$  wurde auf die Zündung des oberen Totpunkts (OT) des ersten Zylinders eingestellt. Die Betriebsbedingungen wurden auf eine hohe Drehzahl eingestellt, bei der eine große Einwirkung der Hubkolbenträgheit gut beobachtet werden konnte. Wenn zum Beispiel die Drehzahlen dem Stand der Technik entsprechend bei 90 Grad, 180 Grad, ... des OT erkannt werden, um die maximale und minimale Drehzahl in einer einzigen Zündfolge zu ermitteln, so tritt

manchmal eine Umkehr bezüglich der Größe auf, so daß die maximale Drehzahl  $\omega'H$  gleicht und wobei die minimale Drehzahl  $\omega'L$  gleicht.

In Figur 13 wird der Kurbelwellenwinkel  $\theta$  zu einer Ordinate der Schwankung der Motorendrehzahl dargestellt. In dem oberen Graph aus Figur 13 wird die Umkehr von  $\omega_H$  zu  $\omega'H$  und von  $\omega_L$  zu  $\omega'L$  angezeigt, wobei  $\omega_H$  und  $\omega_L$  entsprechend die maximale und die minimale Drehzahl bezeichnen. In Figur 13 bezeichnet  $\omega$  die gemessene Schwankung der Drehzahl, welche die Schwankung der Verbrennungsdrehzahl plus die Schwankung der Drehzahl aufgrund der Hubkolbenträgheit umfaßt.  $\omega_g$  geht bei höheren Drehzahlen zurück, während  $\omega_c$ , wie dies in den unteren graphischen Darstellungen aus Figur 13 dargestellt ist, bei höheren Drehzahlen zunimmt. Die Ordinatenachsen in Figur 13 sind im gleichen Maßstab gezeichnet und somit wird dargestellt, daß  $\omega_c$  die größere Komponente bei der Messung von  $\omega$  ist. Der durch die vorliegende Erfindung erhaltene Wert  $\omega_g$  wird in Figur 13 so betrachtet, daß er von  $\theta=0^\circ$  bis auf eine maximale Drehzahl von  $\theta=180^\circ$  beschleunigt, bei welcher die nächste Zündfolge beginnt, wodurch demonstriert wird, daß die sachgemäße Information über die Verbrennung erfolgreich herausgezogen worden ist.

Durch die Verwendung der Merkmale der vorliegenden Erfindung kann aus den Drehzahlen die sachgemäße Information über die Verbrennung ermittelt werden. Herkömmliche Verfahren zur Erkennung des Verbrennungszustands, die in ihrer Gültigkeit und Zuverlässigkeit nur auf niedrige Drehzahlbereiche beschränkt sind, können zu einer vollständigen Drehzahlerkennung erweitert werden, wenn sie mit der Vorrichtung zur Erkennung der Drehzahl des Merkmals der vorliegenden Erfindung angewendet werden. Ferner kann durch den Erfindungsgegenstand eine quantitative Erkennung des Verbrennungszustands durchgeführt werden, wodurch die Genauigkeit der Erkennung des Verbrennungszustands stark verbessert wird, was zu Verbesserungen des Kraftstoffverbrauchs,

in der Abgasreinigungstechnologie und dergleichen führt und somit zum Beispiel zu Verbrennungstechniken ohne Rückstände, Fehlfunktionsdiagnosen oder dergleichen führt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung des Verbrennungszustands in jedem Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (10), umfassend die Schritte der Bestimmung eines Arbeitshubs jedes Zylinders (14-22, 28), Erkennung der Drehzahl der genannten Brennkraftmaschine während jedem Arbeitshub (281-286) und Bewertung der erkannten Drehzahlen (287, 288), gekennzeichnet durch den Schritt der:

Bestimmung eines Ausgleichssignals, welches die Hubkolbenträgheit bei jeder erkannten Drehzahl anzeigt, und zwar durch Berechnung der Motordrehzahlschwankung, die durch die Hubkolbenträgheit ( $\omega_C$ ) auf der Basis der in der Speichereinrichtung (11) gespeicherten Koeffizientendaten ( $h\theta$ ) bewirkt worden ist; und den Schritt der:

Bewertung der erkannten Drehzahlen ( $\omega$ ), die zur Anzeige des Verbrennungszustands adaptiert sind, im wesentlichen nur auf der Abweichung der ermittelten Drehzahlen ( $\omega_g$ ) basierend, die durch die Verbrennung bewirkt worden sind, durch Berechnung der Abweichung der erkannten Drehzahl ( $\omega_g + \omega_C$ ) weniger der genannten Motorendrehzahlschwankung ( $\omega_C$ ), die durch die Hubkolbenträgheit bewirkt worden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Motordrehzahlen nahe dem Anfang und dem Ende jedes Zylinderarbeitshubs und zu einem Zeitpunkt zwischen dem Anfang und dem Ende des Hubs ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Motorendrehzahlen am oberen Totpunkt eines ersten Zylinders ermittelt werden, sowie am oberen Totpunkt eines zweiten Zylinders, bei dem es sich um den nach dem genannten ersten Zylinder als nächstes zu zündenden Zylinder

handelt und zu einem Zeitpunkt zwischen den oberen Totpunkten des genannten ersten und des genannten zweiten Zylinders.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der genannte Zeitpunkt zwischen dem oberen Totpunkt des genannten ersten Zylinders und dem oberen Totpunkt des zweiten Zylinders etwa in der Mitte der beiden Totpunkte liegt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewertungsschritt die Bestimmung der krummlinigen Eigenschaft der ermittelten Drehzahlen zwischen der zuerst ermittelten und der zuletzt ermittelten Drehzahl in einem Arbeitshub umfaßt, sowie die Bewertung des Ausmaßes der Kurvenabweichung, um so den Verbrennungszustand zu bestimmen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlen am Anfang und am Ende eines Arbeitshubs ermittelt werden, sowie an einem dazwischenliegenden Punkt und dadurch gekennzeichnet, daß die an dem genannten zwischenliegenden Punkt auftretende Höhe der Drehzahl oberhalb einer imaginären Linie, die zwischen den Drehzahlen am Anfang und am Ende der Verbrennung gezogen wird, den Verbrennungszustand anzeigt.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehzahlen am Anfang und am Ende eines Arbeitshubs ermittelt werden, sowie an einem dazwischenliegenden Punkt und dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich unter der auftretenden Drehzahl in bezug auf eine imaginäre Linie, die zwischen den Drehzahlen am Anfang und am Ende der Verbrennung gezogen wird, den Verbrennungszustand anzeigt.

8. Vorrichtung zur Erkennung des Verbrennungszustands in jedem Zylinder einer mehrzylindrigen Brennkraftmaschine (10),

umfassend eine Bestimmungseinrichtung (14-22, 28), die so adaptiert ist, daß sie einen Arbeitshub jedes Zylinders ermittelt und ein diesen Hub darstellendes Signal einer Erkennungseinrichtung (281-286) zuführt, die so adaptiert ist, daß sie die Drehzahl der genannten Brennkraftmaschine während jedem Arbeitshub erkennt, und daß sie eine die Drehzahl anzeigende Ausgabe einer Bewertungseinrichtung (287, 288) bereitstellt, um für die Anzeige des Verbrennungszustands zu sorgen, basierend auf der Abweichung der erkannten Drehzahlen, dadurch gekennzeichnet, daß:

für eine Ausgleichseinrichtung (287') gesorgt ist, die so adaptiert ist, daß sie ein Ausgleichssignal ermittelt, welches die Hubkolbenträgheit bei jeder erkannten Drehzahl ( $\omega_c + \omega_g$ ) anzeigt und wobei die genannte Ausgleichseinrichtung so angeordnet ist, daß sie das genannte Ausgleichssignal der genannten Bewertungseinrichtung (288') zuführt, so daß eine Anzeige des Verbrennungszustands bereitgestellt wird, und zwar im wesentlichen nur auf der durch die Verbrennung bewirkten Abweichung der erkannten Drehzahlen ( $\omega_g$ ) basierend;

die genannte Ausgleichseinrichtung (287') eine Speichereinrichtung (11) umfaßt, die so adaptiert ist, daß sie Koeffizientendaten ( $h\theta$ ) speichert, um die durch die Hubkolbenträgheit bewirkte Schwankung der Motorendrehzahl ( $\omega_c$ ) zu berechnen; und

die genannte Bewertungseinrichtung (288') eine Verarbeitungseinrichtung umfaßt, die so angeordnet ist, daß sie die Abweichung der erkannten Drehzahlen ( $\omega_c + \omega_g$ ) weniger der durch die Hubkolbenträgheit bewirkten Schwankung der Motorendrehzahl ( $\omega_c$ ) berechnet.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmungseinrichtung eine Kurbelwellen-Winkelgebereinrichtung (14-18) umfaßt, die so adaptiert ist, daß sie ein Ausgangssignal bereitstellt, und zwar (a) an dem oberen

Totpunkt eines ersten Zylinders, (b) an dem oberen Totpunkt eines zweiten Zylinders, der der nächste Zylinder ist, der nach dem genannten ersten Zylinder gezündet wird und (c) an einem Zeitpunkt zwischen den oberen Totpunkten des genannten ersten und des genannten zweiten Zylinders.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die genannte Speichereinrichtung (11) ferner so adaptiert ist, daß sie Daten speichert, die eine Motorendrehzahlschwankung darstellen, die durch Elastizität bewirkt worden ist.

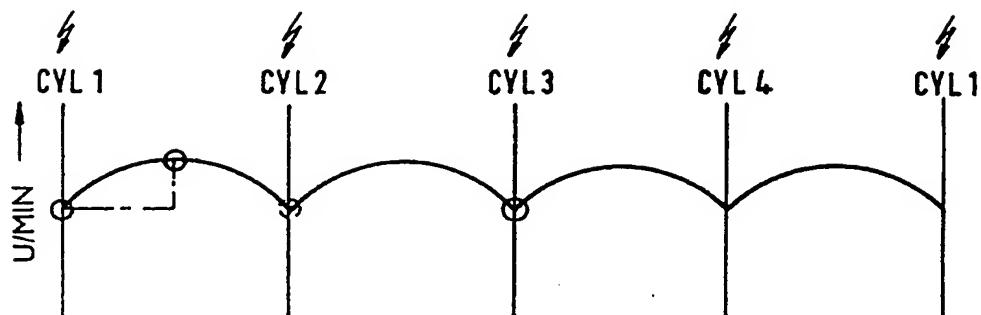


Fig. 1(a)

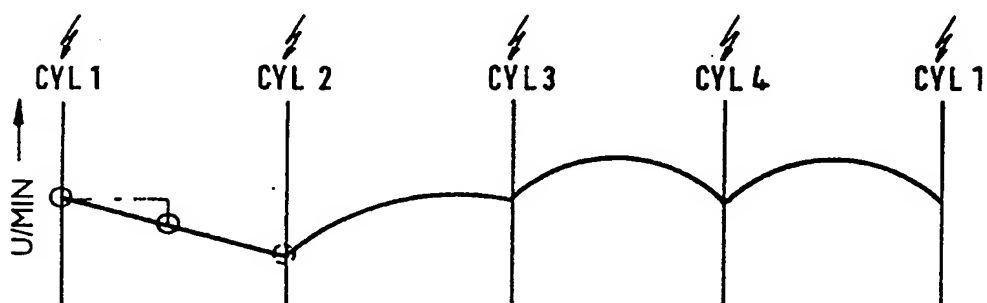


Fig. 1(b)

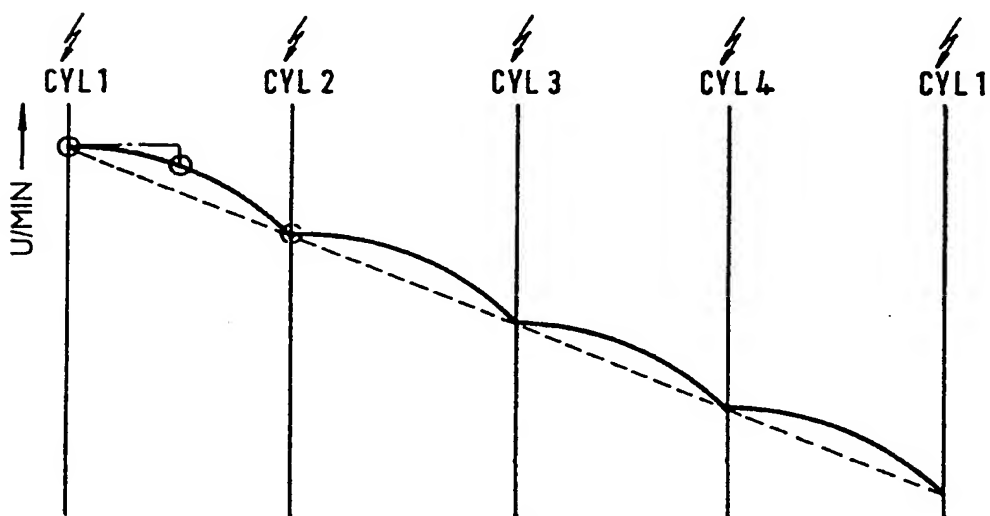


Fig. 1(c)

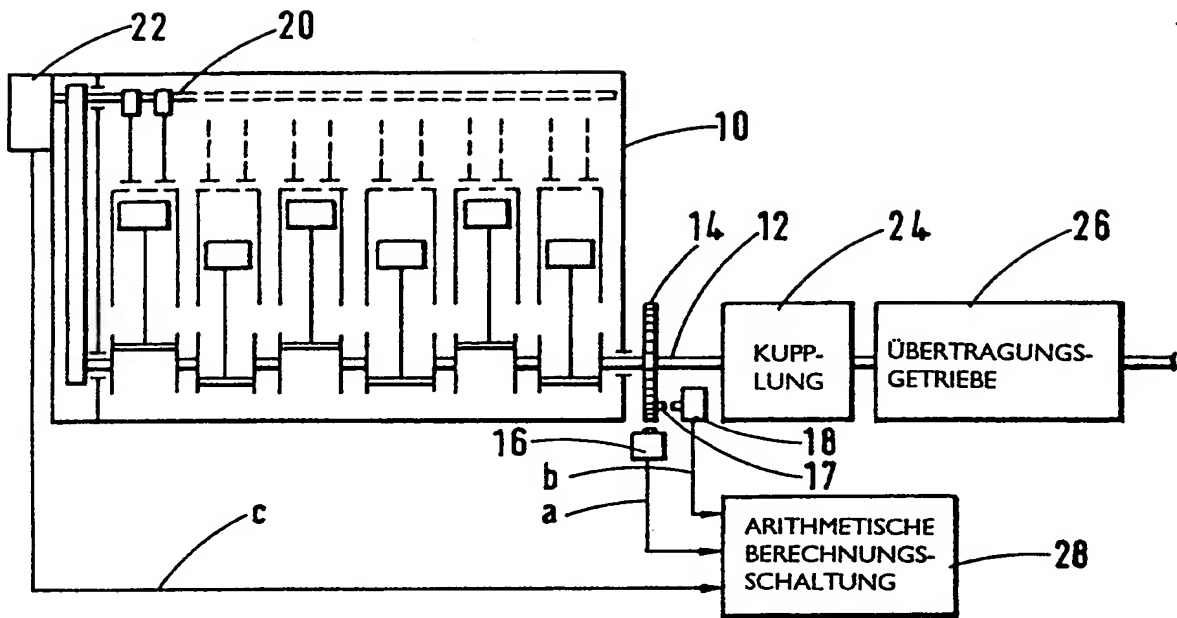
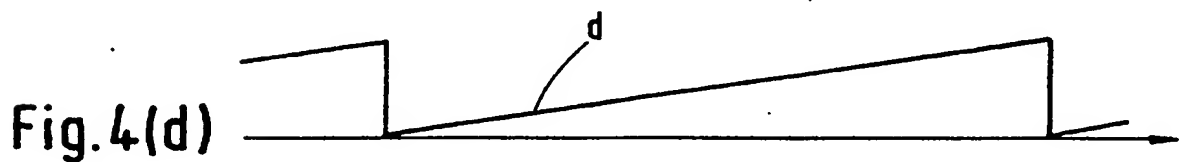
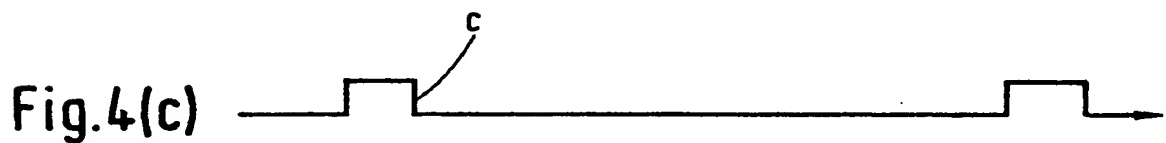
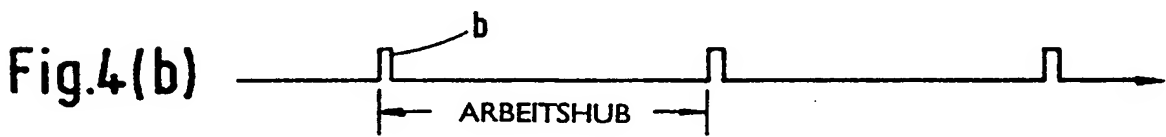
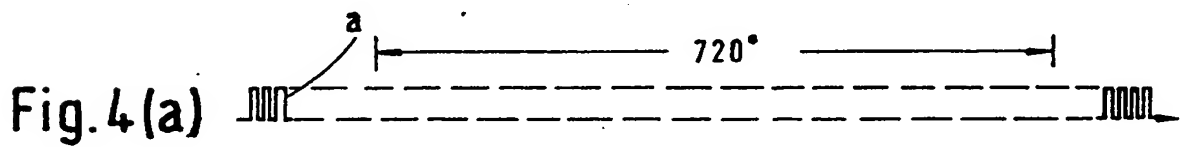


Fig. 2



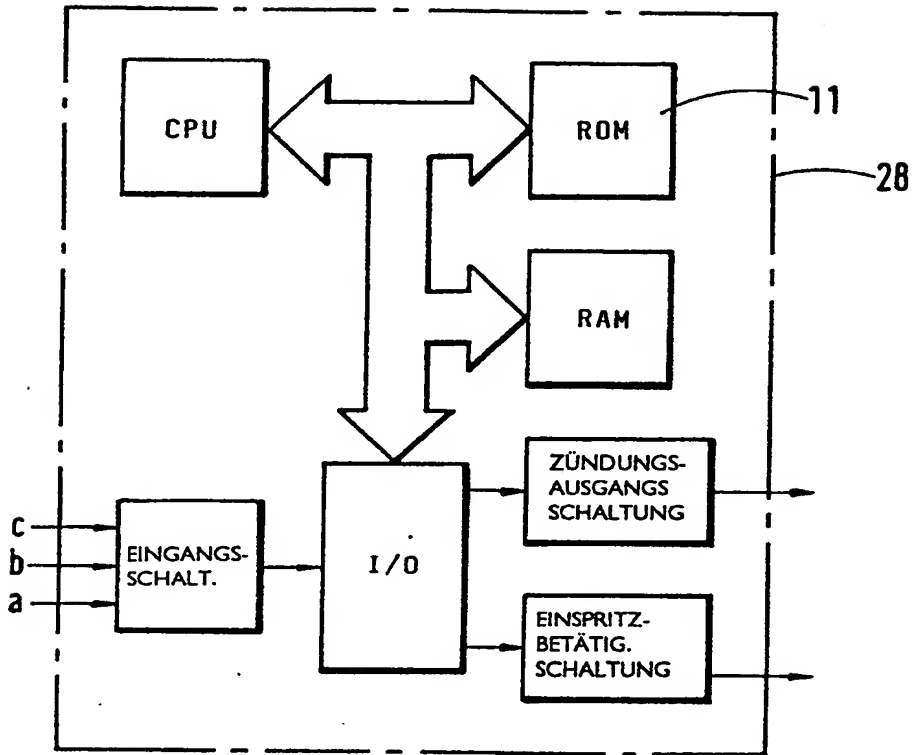


Fig.3(a)

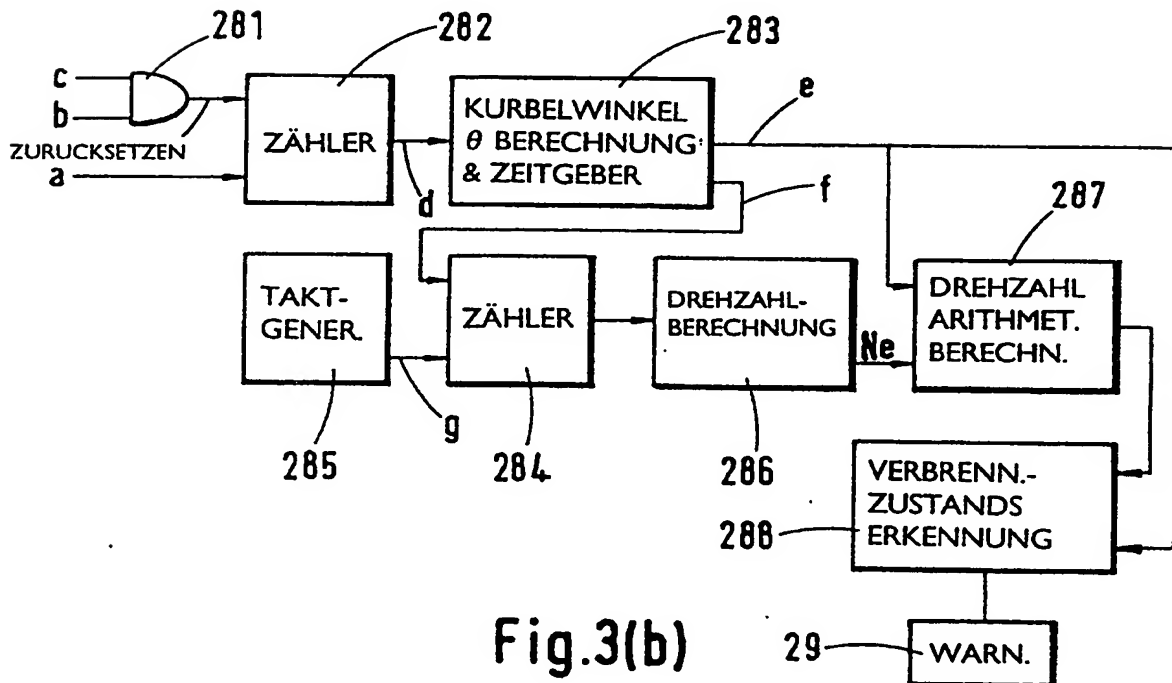


Fig.3(b)

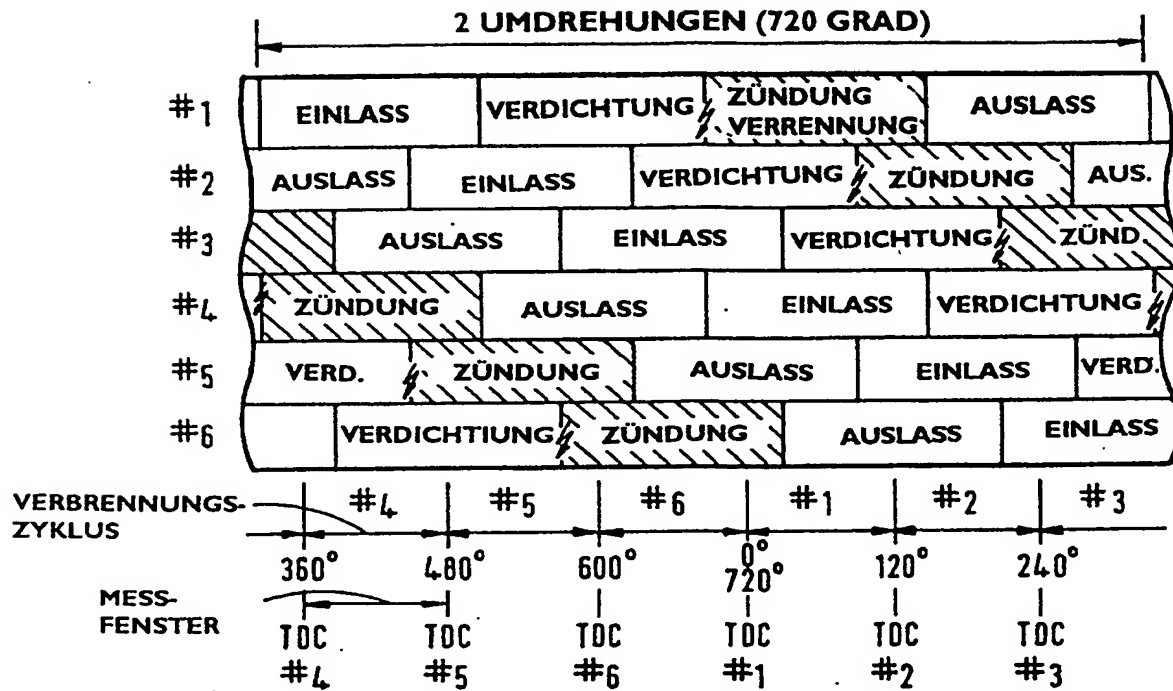
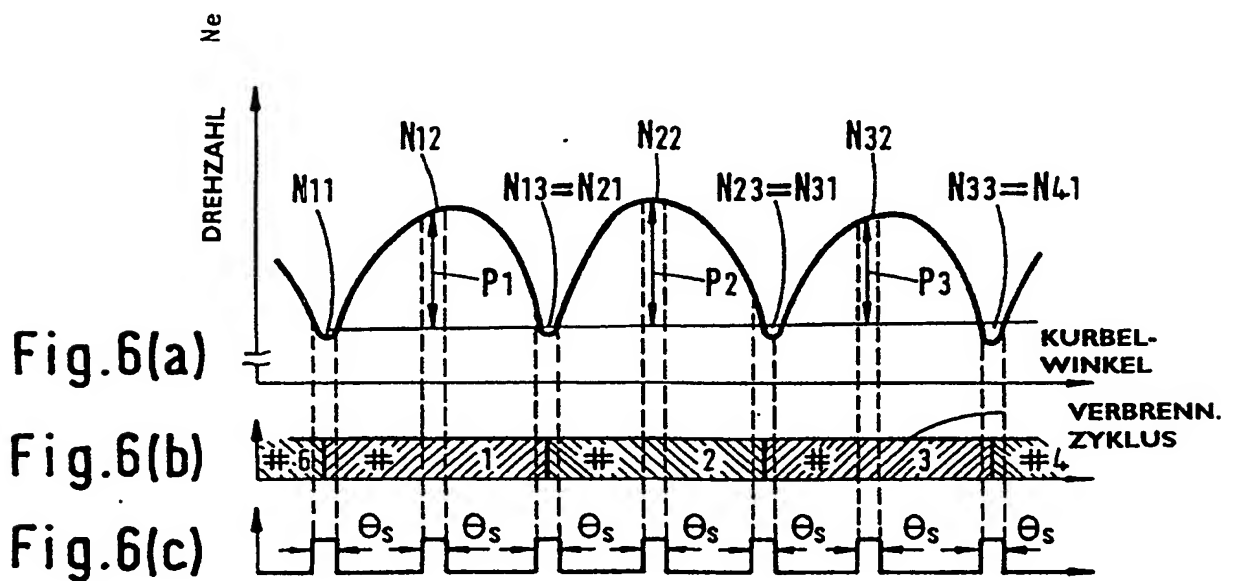


Fig.5



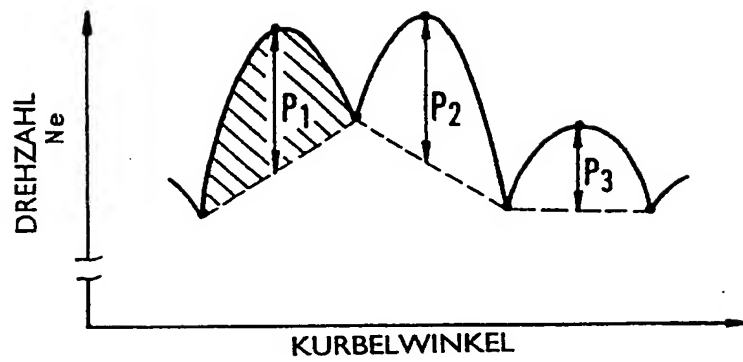


Fig.7

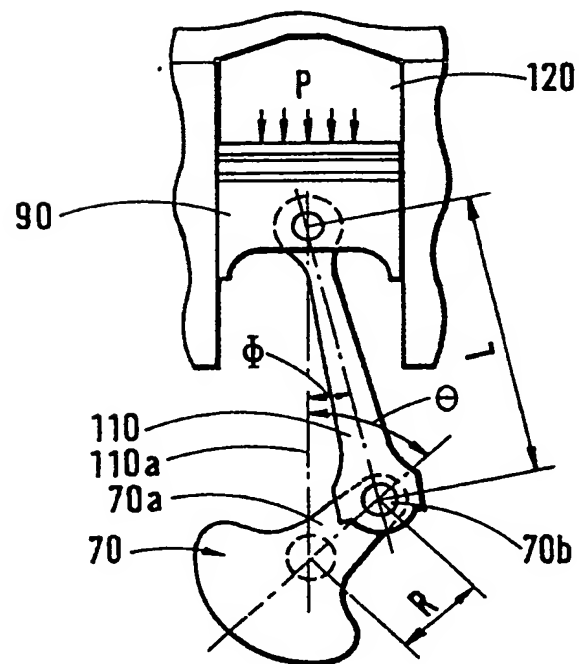


Fig.10

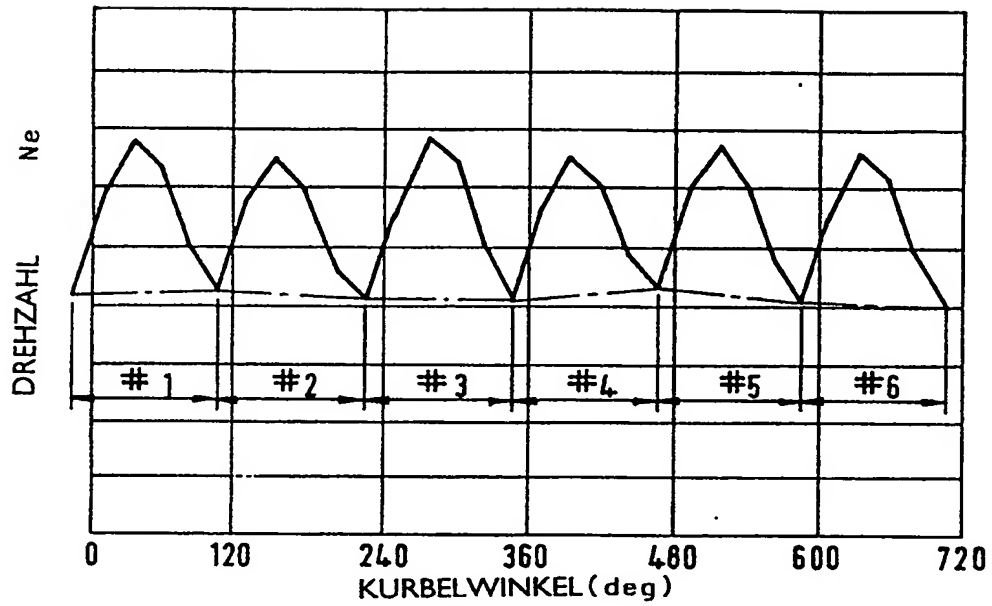


Fig.8

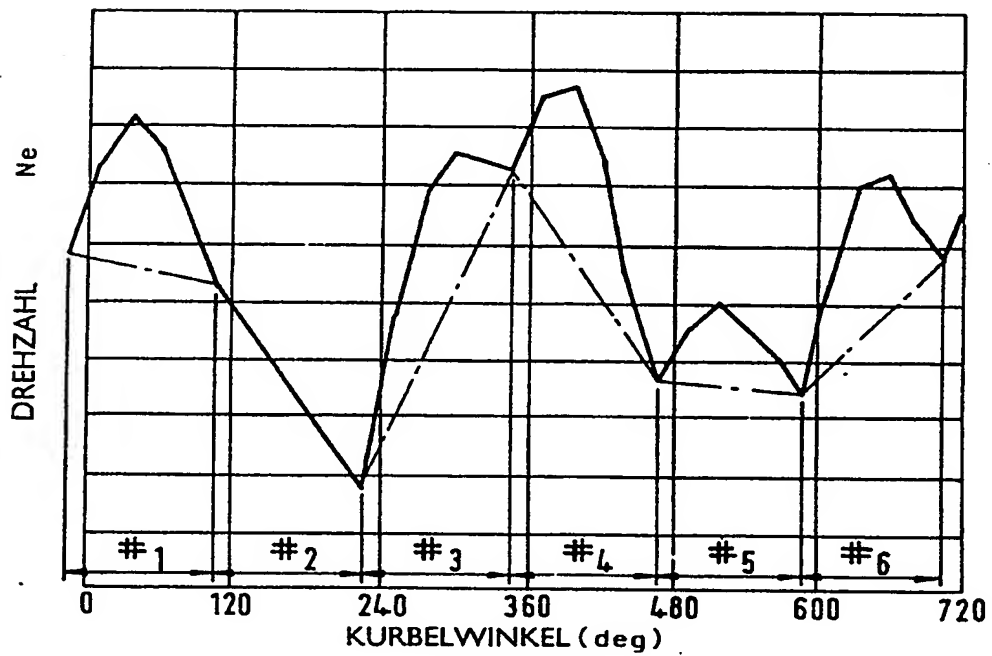


Fig.9

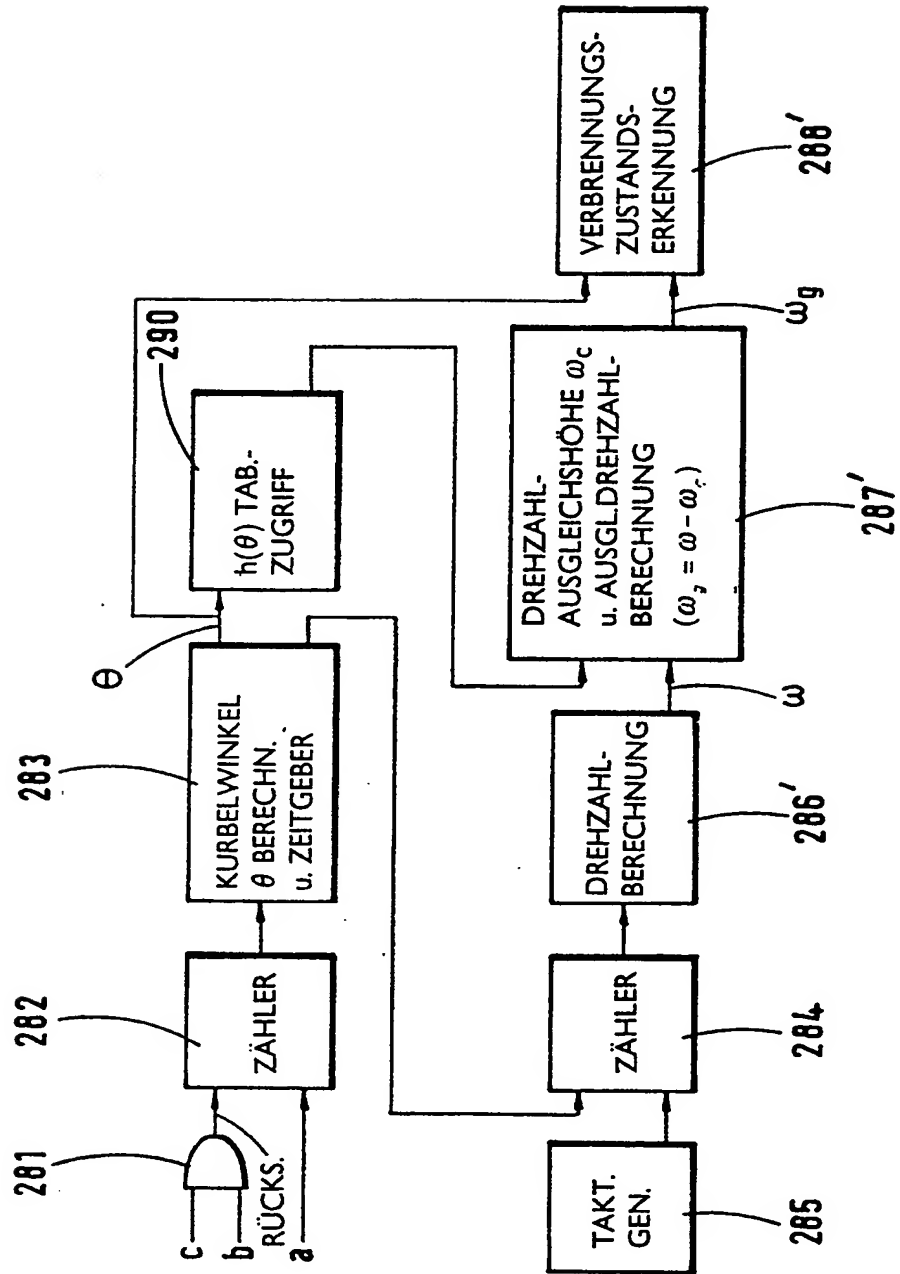


Fig.11

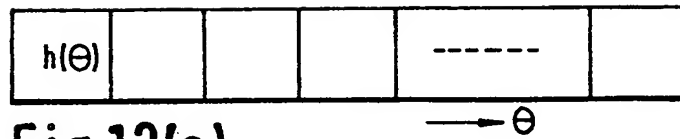


Fig.12(a)

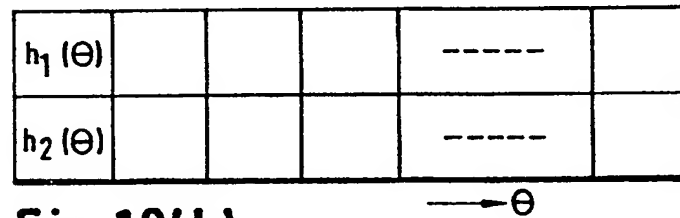


Fig.12(b)

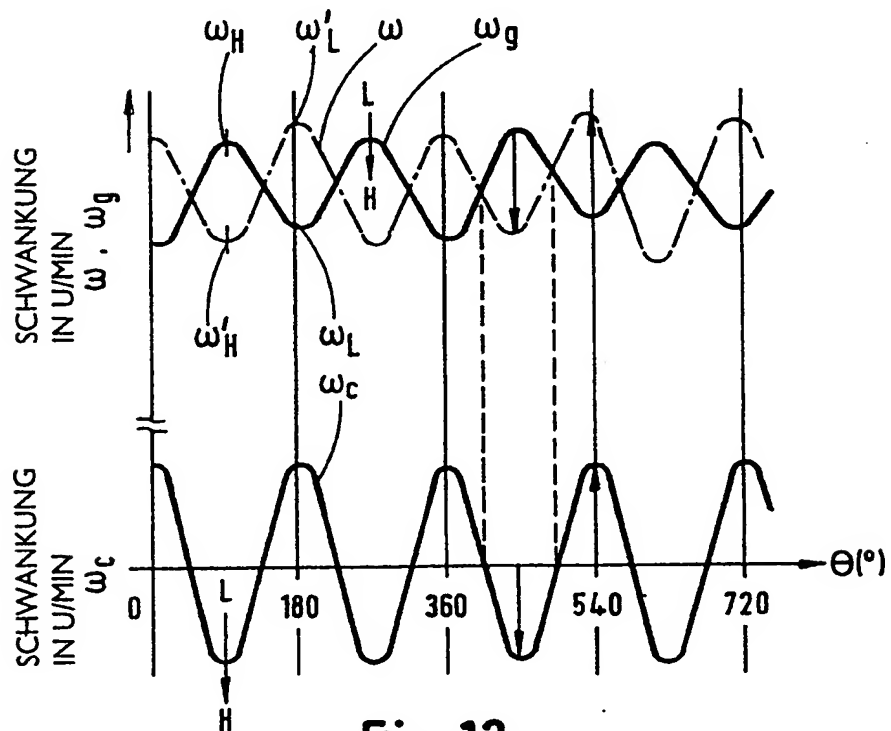


Fig.13